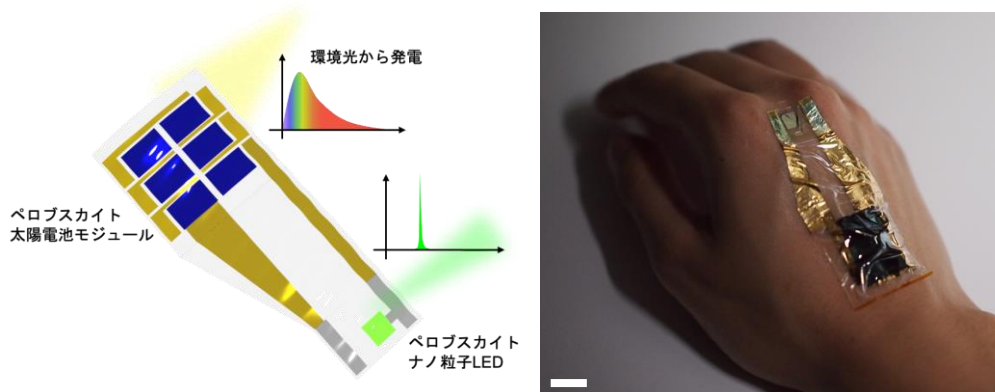


室内光で駆動する全ペロブスカイト超薄型光センサ ——ペロブスカイト材料を用いた世界最高効率の超薄型光電デバイスの実現 ・室内光によるウェアラブルセンサの自律駆動へ——

発表のポイント

- ◆ 世界最高効率（太陽電池にて 18.2%、LED にて 15.2cd/A）の超薄型ペロブスカイト光電デバイスの開発に成功した。
- ◆ このペロブスカイト光電デバイスは非常に高効率だけでなく、ナノ粒子 LED の持つ鋭い発光色ピークにより、ノイズの少ない光脈波センシングが可能である。
- ◆ 室内光といった限られた光量環境でも発電が可能であるため、今後、超薄型ペロブスカイト光電デバイスを用いた、室内環境で駆動する電源内蔵型ウェアラブル機器の開発が期待される。



全ペロブスカイト超薄型光センサの構造図、及びデバイスを肌に貼り付けた際の写真

発表概要

東京大学大学院工学系研究科の横田知之准教授、染谷隆夫教授らは、EPFL、ETH Zurich の研究者らと共同で、世界初の全ペロブスカイト結晶（注1）デバイスによる電源内蔵型の超薄型光脈波センサを開発しました。このペロブスカイト光脈波センサは、1.5 μm という薄型のプラスチック基板上へ作製されており、非常に柔軟・軽量であるため肌へ高い密着性を示します。作製されたペロブスカイト太陽電池は、超薄型プラスチック基板上において世界最高効率の 18.2% を示しており、室内光を用いてペロブスカイト LED の駆動に十分な電力を発電できます。さらに、ペロブスカイトナノ粒子（注2）を発光層へ用いたペロブスカイトナノ粒子 LED においても、世界最高効率である 15.2cd/A を達成しました。ペロブスカイトナノ粒子 LED は半値幅（注3）22nm という非常に鋭い発光スペクトルを持つため、超薄型プラスチック基板上であっても、基板の機械変形に対して発光色が変わらない超薄型 LED を実現しました。作製したペロブスカイトナノ粒子 LED は、バンドパスフィルタを用いることで、98.2% の選択制を持つ脈波信

号の検出に成功しました。本研究の全ペロブスカイト超薄型光脈波センサは、将来の室内光で駆動可能なセンサとしてモノのインターネットやウェアラブル機器への応用が期待されます。

本研究成果は、2023年9月1日付で米国科学誌「Advanced Materials」のオンライン版で公開されました。

発表内容

〈研究の背景〉

近年、電子機器の小型化と高性能化が進み、ウェアラブル機器やモノのインターネット (IoT) の普及が進んでいます。それに伴い、交換不要な電源を内蔵した、自律駆動可能なウェアラブルセンサの開発が望まれています。その中でも、環境に存在する太陽光や室内光といった光エネルギーを電力に変換可能な、超薄型 (5 μm 以下) の太陽電池は、デバイスの面積に比例した大電力発電が可能であるため、軽量のウェアラブル電源として注目されています。これまで、有機半導体を使った有機太陽電池による電源内蔵型ウェアラブルセンサや、音響発電による電源内蔵型ウェアラブルセンサが提案されてきました。その中で近年、超薄型で高効率な光電デバイスとして、超薄型プラスチック基板とペロブスカイト結晶を用いた超薄型のペロブスカイト光電デバイスが注目されています。ペロブスカイト光電デバイスは、高い光電変換効率を持つペロブスカイト結晶を活性層へ用いることで、高効率の太陽電池や、半値幅の狭い鮮やかな発光を示す発光ダイオード (LED: Light-emitting diode) の実現が可能です。しかしながら、これまで超薄型プラスチック基板を用いた高効率のペロブスカイト光電デバイスの実現は困難であるとされてきました。これは、超薄型デバイスへ用いられるポリエチレンテレフタレート (PET: Polyethylene terephthalate) やポリエチレンナフタレート (PEN: Polyethylene naphthalate) といったプラスチック基板は、高温の熱プロセスに弱く、高効率を示すペロブスカイト光電デバイス構造を超薄型基板上へ導入することができなかつたためでした。

〈研究の内容〉

本研究グループは、パリレン/SU-8の積層プラスチック構造を用いた熱に強い超薄型プラスチックを基板に用いることで、世界最高効率の超薄型ペロブスカイト太陽電池・ペロブスカイトナノ粒子LEDを開発することに成功しました。開発した超薄型ペロブスカイト太陽電池は、酸化スズを下部電子注入層に持つ n-i-p 構造で、ガラス基板上デバイスと遜色ない効率を示し、超薄型太陽電池として世界最高効率の 18.2% の変換効率を実現しました (図 1)。

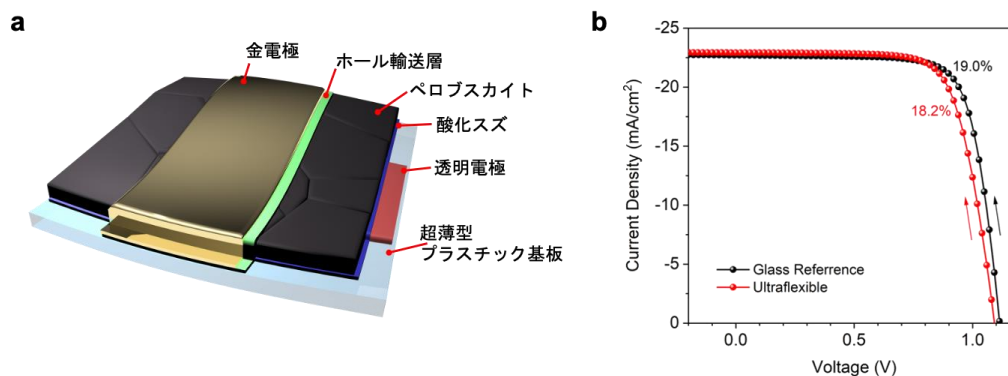


図 1 : 超薄型ペロブスカイト太陽電池の構造図 (左) 及び太陽電池特性 (右)

超薄型ペロブスカイト太陽電池として世界最高効率の 18.2% を実現した。

さらに本研究では 15.2cd/A という高い変換効率を示す超薄型ペロブスカイトナノ粒子 LED を実現しました。実現したペロブスカイトナノ粒子 LED は、高効率であるだけでなく、従来の超薄型有機 LED において課題であった基板由来の発光色歪みを抑えることができます。従来の幅広い発光スペクトルを持つ超薄型有機 LED においては、基板由来の周期的な発光スペクトルの歪みが見られる一方、超薄型ペロブスカイトナノ粒子 LED は、半値幅が狭く鋭い発光スペクトルを持つため、基板由来の周期的な発光色歪みが抑えられることが確認されました (図 2)。

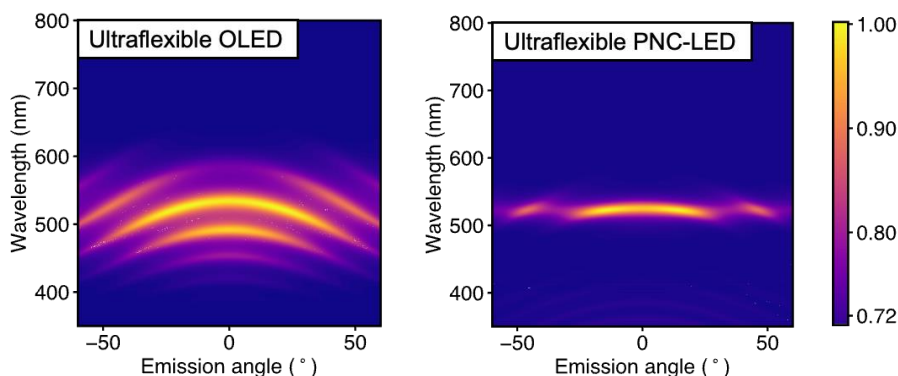


図 2 : 超薄型ペロブスカイトナノ粒子 LED 発光スペクトルのシミュレーション結果

超薄型有機 LED の解析結果 (左) では周期的な発光スペクトル歪みが見られる一方、超薄型ペロブスカイトナノ粒子 LED (右) では、鋭い発光スペクトルにより周期的な発光スペクトル歪みを抑えることができている。

〈今後の展望〉

今回開発したペロブスカイト光電デバイスは、太陽光下、室内光下、どのような環境であっても高効率で発電を行うことができます。たとえば、開発した超薄型太陽電池と超薄型 LED を集積化した、電源内蔵型光センサは、太陽光・室内光それぞれの光を電力に変換し、ペロブスカイトナノ粒子 LED を光らせることができました (図 3)。さらに、ナノ粒子 LED を用いて光脈波計測を行った結果、98.2%の選択性でノイズなく脈波信号を取ることに成功しました。今後、ペロブスカイト光電デバイスを用いた、室内光で持続的に駆動可能な超薄型ウェアラブル機器の開発が期待されます。

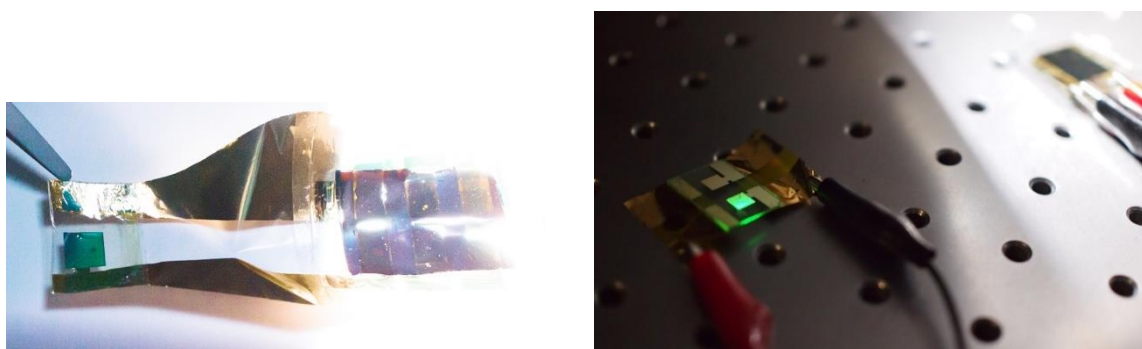


図 3 : 全ペロブスカイト超薄型光センサの駆動時写真、太陽シミュレータ光 (左) 室内光 (右)

発表者

東京大学大学院工学系研究科

染谷 隆夫（教授）

横田 知之（准教授）

スイス連邦工科大学ローザンヌ校

（EPFL: École polytechnique fédérale de Lausanne）

Felix Thomas Eickmeyer（ポスドク研究員）

Lukas Pfeifer（ポスドク研究員）

スイス連邦工科大学チューリッヒ校

（ETH Zurich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich）

Chih-Jen Shih（准教授）

Sunil B Shivarudraiah（ポスドク研究員）

Rasmussen Asbjörn（修士課程）

Gianluca Vagli（博士課程）

Tomasso Marcato（博士課程）

甚野 裕明（研究当時：ポスドク研究員）

論文情報

〈雑誌〉 Advanced Materials（9月1日付、オンライン版）

〈題名〉 Indoor Self-Powered Perovskite Optoelectronics with Ultraflexible Monochromatic Light Source

〈著者〉 Hiroaki Jinno, Sunil B Shivarudraiah, Rasmussen Asbjörn, Gianluca Vagli, Tommaso Marcato, Felix Thomas Eickemeyer, Lukas Pfeifer, Tomoyuki Yokota, Takao Someya, Chih-Jen Shih*

〈DOI〉 10.1002/adma.202304604

〈URL〉 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202304604>

用語解説

（注1）ペロブスカイト結晶

ペロブスカイト構造と呼ばれる、金属を立方晶の中心に持つ格子構造を持つ結晶。アニオンをA、カチオンをX、金属アニオンをBとした場合、 ABX_3 の構造式で記述される。近年では特に、鉛アニオンPbとハロゲンカチオンX（ヨウ素I、臭素Br）を用いたペロブスカイト結晶 $APbX_3$ が高い光電特性を持つ薄膜デバイス用の活性層として注目されている。

（注2）ペロブスカイトナノ粒子

ペロブスカイト結晶と有機リガンド分子からなるナノメートル(nm)サイズのみセル構造結晶。量子閉じ込め効果による発光スペクトルの短波長シフトを示す一方、10-50nmという量子ドットと比べても大きなサイズを持つため、粒子合成時のサイズばらつきによる発光スペクトルの広がりが少なく、非常に鋭い発光ピークを示す。

(注3) 半値幅

とある関数の最大値に対して、その半分の値を示す変数の幅。本研究では、LED のエレクトロルミネッセンス発光の最大値に対して、その半分の発光量を示す波長幅を示す。半値幅が広い LED は発光が白くぼやけて見え、狭い LED は鮮やかな発光色を持つ。

問合せ先

〈研究に関する問合せ〉

東京大学大学院工学系研究科

教授 染谷 隆夫 (そめや たかお)

〈報道に関する問合せ〉

東京大学大学院工学系研究科 広報室